

## 고지방식이와 지구성 운동이 Rat의 체지방율·유리지방산 농도 및 운동수행능력에 미치는 영향

신덕수\* · 이창준 · 홍인숙 · 고영호 제주대학교 · 허문호 제주시체육회 · 김세민 제주관광대학

---

### Effects of High-fat Diet and Endurance Exercise on %Fat-Free Fatty Acid Concentration and Endurance Performance in Rats

Shin, Doug-Soo · Lee, Chang-Joon · Hong, In-Sook · Ko, Young-Ho (Cheju National University) ·  
Her, Moon-Ho (Jejusi Sports Council) · Kim, Sei-Min (Jeju Tourism College)

---

#### ABSTRACT

We determined the effect of high fat diet and endurance exercise on %fat, free fatty acid and endurance performance in rats. 32 Sprague-Dawley rats were trained for 4wk while consuming 40% high-fat diet(n=16, 40F) and 70% high-carbohydrate diet(n=16, 70C). After the final day of training, one-half of rats in each the two groups were run to exhaustion(E), whereas the remaining rats served as rested controls(R). This ultimately resulted in four groups: 40FE(n=8), 40FR(n=8), 70CE(n=8), 70CR(n=8). The animals ran for 30min/day at 28m/min(0% grade). Biochemical analysis items were FFA, glycerol. Besides %Fat, exercise time to exhaustion were measured. All data were expressed as mean and standard error by using SPSS program, and t-test was performed to test the significant levels of differences between groups( $p < .05$ ). %Fat was not significantly increased by consumption of 40F. FFA concentration were higher in 40FR compared with 70CR group( $p < .05$ ). glycerol concentration were higher in 40FE compared with 70CE group( $p < .05$ ). endurance performance was not significantly increased by consumption of a 40F. In summary, the present study has shown that consumption of a 40% high-fat diet and endurance training may increase fat oxidation, but not improve endurance performance in rats.

---

Key words: high-fat diet, %fat, free fatty acid, endurance performance

\* jesuschsds@naver.com

## I. 서론

근 수축의 두 가지 주요 에너지원은 탄수화물과 지방이다. 아미노산 역시 근에서 산화될 수 있는 에너지원이지만 유산소 운동 시 전체 에너지 소비에 대한 공헌도는 무시할 만 하다(Jeukendrup, 1997). 장기간의 강한 운동 시 피로는 근 글리코젠 저장의 고갈과 관련된다. 운동 수행을 강화시키는 지구성 운동 트레이닝에의 적용은 최대하 운동 강도에서 근 글리코젠 이용을 늦추고, 지방산화를 높인다.

탄수화물 식이가 지구성 운동 수행 시 트레이닝으로 유도된 지질 대사의 이동을 방해하여  $\beta$ -산화의 감소를 야기할 수 있다는 몇 가지 증거들이 보고되고 있으며, 지방의  $\beta$ -산화 능력은 장기간의 고지방식 후에 근에서 증가된다. 이런 장기간의 지방식에의 적용은 탄수화물 대사의 방해로 받지않고 순환 지방산의 증가로 운동 시 근 글리코젠 사용을 절약시키며, 탈진 운동 시간을 증가시키는 경향을 보인다. Helge 등(1998)은 운동 시 에너지 연료의 선택은 강력하게 단독구성 식이의 영향을 받는다고 보고하고 있고, Miller 등(1984)도 지방식 비율이 70%이상 되는 식이 적용 쥐에서 지구성 수행에 긍정적 영향을 준다고 보고하고 있다.

근육 내 증성지방으로부터의 운동 시 에너지 소비에 대한 공헌도와 지구성 운동선수의 식이 지방의 요구에 대한 연구는 잘 알려지지 않고 있고(Starling, et al., 1997), 서로 다른 식이의 구성 비율이 지구성 운동 전·후 혈중으로 유리된 지질 성분에 미치는 영향과 식이 차이로 인한 체지방 축적과의 관계를 조사한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구는 흰 쥐를 대상으로 지구성 운동과 고지방식(40%HFAT)을 섭취시킨 실험군과 지구성 운동과 고탄수화물식(70%HCHO)을 섭취시킨 대조군을 통해 체지방률, 유리지방산, 글리세롤 농도 및 운동수행능력에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아 보는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 3주령된 Sprague-Dawley계 흰쥐 32마리를 대상으로 하였다. 집단 구분은 4주 운동까지 40% 고지방식을 섭취하는 실험군(n=16)과 70% 고탄수화물식을 섭취하는 대조군(n=16)으로 구분하였으며, 해부 당일에는 각 군을 다시 휴식군(n=8)과 탈진운동군(n=8)으로 구분하였다.

### 2. 사육방법

본 연구의 실험동물인 Sprague-Dawley계 흰쥐는 대전에 있는 한국화학연구소로부터 구입하여 본 실험에 들어가기 전 3주간에 걸쳐 환경적응을 위한 예비사육을 실시하였다. 사육실의 환경온도는  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 습도는 60%로 유지하였으며, 일일 명암 cycle은 명기를 20:00~08:00, 암기를 08:00~20:00로 하였다.

### 3. 식이방법

예비사육 시 동물용 사료는 3.38kcal/g의 열량을 가진 삼양사로부터 구입한 분말용 사료로, 3주간 예비사육시 섭취한 양을 평균(약 18.25g/d)내어 실험에서의 61.7kcal/d의 열량을 추정하였다. 본 실험에서의 식이는 직접 제작하였고, 섭취가 용이하고 식이구성이 골고루 배합되도록 가는 망사로된 채를 이용하여 수

Table 1. Composition of experimental diet

Ingredient	Composition of Diet (g/day)	
	40%HFAT	70%HCHO
Casein	3.86	3.86
Corn starch	5.40	10.80
Corn oil	2.74	0.35
Cellulose	0.48	0.60
Vitamin mixture	0.12	0.15
Mineral mixture	0.60	0.75
DL-Methionine	0.04	0.05
Calorie(kcal/d)	61.7	61.7

차례 걸러내어 분말식으로 만들어 냉장 보관하였다. 40%고지방식군은 25%-단백질, 35%-탄수화물 섭취, 그리고 70%고탄수화물식군은 25%-단백질, 5%-지방을 섭취시켰다. 본 실험의 식이구성은 <Table 1>과 같다.

#### 4. 운동방법

본 실험에서 쥐들은 소동물용 treadmill에서 경사도 0%, 주간 빈도 5일로 running을 실시하였고, 운동 부하를 실험 첫 주에는 분당 5-10m의 속도로 5-10분 동안 달렸으며, 4주 운동(25-28m/min)이 종료될 때까지 운동강도를 점증적으로 증가시켰다. 해부당일 탈진 운동군에게는 28m의 속도로 운동을 all-out까지 실시하였다.

#### 5. 분석방법

%fat은 쥐의 지방(난소주위, 신장주위, 장간막, 피하지방)을 적출해 내어 간편식(총지방량×100/체중)으로 계산하였고, 혈액은 단두 후에 채취하였으며, 원심분리기(Vision Scientific Co., Korea)를 사용하여 분당 3,000 rpm으로 15분간 원심 분리한 후, 유리지방산은 착색법을 이용한 분석시약(Eiken Chemical Co., Japan)을 사용하였으며, 글리세롤은 효소법을 이용한 분석시약(Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, Germany)을 사용하여 분석하였다. 운동수행 능력은 탈진 시까지 운동지속시간으로 판정하는데 있어 쥐들이 더 이상 뛰지 못하여 복부를 treadmill 바닥에 의지하고 계속해서 전기적인 쇼크를 받아 수행이 불가능한 상태에 이르는 시간을 운동수행능력으로 판정하였다.

#### 6. 자료처리

본 연구를 위한 자료 처리 방법은 SPSS Package를 이용하여 집단의 평균(Mean) 및 표준오차(standard error: SE)를 산출하였고, 집단간 변화를 보기 위해 t-test를 이용하였다. 가설의 검정을 위한 유의수준은 5%로 하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 체중변화

실험기간 중 체중의 변화는 <Fig 1>과 같다. 2가지 식이 형태에서 유사한 체중변화를 보였고, 집단간 유의차는 없었다.

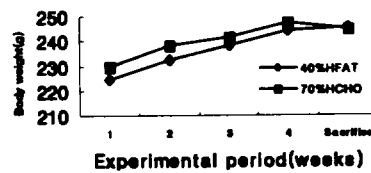


Fig. 1. Change of body weight

Fig. 1 Change of body weight

#### 2 에너지 섭취량

에너지 섭취량(Energy Intake)은 <Table 2>와 같다. 2가지 식이 형태에서 유사한 경향을 보였고, 40%HFAT 그룹에서 조금 증가하였으나, 집단간 유의차는 없었다.

Table 2 Energy intake

Group	Energy Intake(kj/day)
40%HFAT (n=16)	251.58 ± 6.15
70%HCHO (n=16)	247.21 ± 6.12

Values are means±SE, animals, 40%HFAT: 40% high fat diet; 70%HCHO: 70% high carbohydrate diet.

#### 3. 지방량

식이 형태와 운동에 따른 각 그룹의 지방량은 <Table 3>과 같다. 난소주위와 신주위 지방에서 40%HFAT 그룹이 70%HCHO 그룹에 비하여 높은 유의수준(p<0.05)을 나타내었고, 장간막과 피하지방에서는 유의차를 나타내지 않았다.

Table 3. Comparison of body fat weight

Group	fat weight(g)			
	epididymal	perirenal	mesenteric	intrascapular
40%HFAT (n=16)	7.96±0.57*	2.99±0.27*	3.22±0.27	4.83±0.28
70%HCHO (n=16)	6.27±0.46	2.27±0.19	3.04±0.22	4.22±0.26

\*Significantly different from 70%HCHO,  $p < 0.05$ .

#### 4. 체지방율

식이 형태와 운동에 따른 각 그룹의 체지방율은 <Table 4>와 같다. 40%HFAT 그룹(7.71 ± 0.44%)에서 높은 수준을 나타냈으나, 70%HCHO(6.48 ± 0.43%)와 비교하여 통계적으로 유의한 수준은 아니었다.

Table 4. Comparison of %body fat

Group	Body Fat, %
40%HFAT(n=16)	7.71 ± 0.44
70%HCHO(n=16)	6.48 ± 0.43

#### 5. FFA 농도

유리지방산의 농도는 <Table 5>와 같다. 안정 시 40%HFAT 그룹이 70%HCHO 그룹에 비하여 유의하게 높은 수준( $p < 0.05$ )을 나타내었고, 탈진 시 40%HFAT 그룹과 70%HCHO 그룹간에는 통계적으로 유의한 수준을 나타내지 않았다.

Table 5. Comparison of FFA concentration

Group	FFA concentration (μEq/l)	
	Rested	Exhausted
40%HFAT	1052.74 ± 84.44*	739.45 ± 83.84
70%HCHO	555.38 ± 51.08	585.97 ± 40.98

\*Significantly different from 70%HCHO,  $p < 0.05$ .

#### 6. Glycerol 농도

글리세롤의 농도는 <Table 6>과 같다. 안정 시 각 그

룹간에 유의차를 보이지 않았고, 탈진 시에 40%HFAT 그룹이 70%HCHO 그룹에 비하여 높은 유의수준( $p < 0.05$ )을 나타내었다.

Table 6. Comparison of glycerol concentration

Group	Glycerol concentration (mg/dl)	
	Rested	Exhausted
40%HFAT	0.54 ± 0.02	0.79 ± 0.03*
70%HCHO	0.46 ± 0.01	0.65 ± 0.04

\*Significantly different from 70%HCHO,  $p < 0.05$

#### 7. 운동수행능력

각 그룹간의 운동수행능력은 <Table 7>과 같다. 두 가지 식이 형태에 따른 운동수행능력은 40%HFAT에서 증가된 수행능력을 보였으나, 유의차는 없었다.

Table 7. Comparison of exercise time to exhaustion

Group	Endurance Time(min)
40%HFAT (n=8)	77.63±9.20
70%HCHO (n=8)	61.63±8.70

Data were obtained from exhausted animals

## IV. 논의

에르고제닉 에이드로써 고지방식이와 관련하여 연구 시 장애를 받는 것 중 하나는 식이 지방과 체지방 축적 사이에 높은 상관 관계를 보인다는 것이며, 고지방 식을 행할 경우 일정 체중에서의 체지방량은 증가하기 마련이다. 고지방식과 체지방 축적사이의 관계는 비훈련된 쥐와 인간에서 모두 존재하는 것을 보여왔다. Osci 등(1987)은 40% 지방 식이에서 비훈련된 쥐에게 비만을 야기하며, %fat이 20%이상을 비만으로 보고하고 있다. 1996년 Lapachet 등은 훈련된 고지방식이 쥐에서 훈련된 고탄수화물식이 쥐와 비교하여 체지방은 증가하였으나, 지구성 트레이닝으로 쥐들이 비만이 되는 것을 방지(20% 미만)하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 트레이닝으로 유도된 쥐의 %fat은 40%HFAT

그룹에서 높았으나 7.71%로 70%HCHO 그룹과 비교하여 1.23%의 차이를 보이고 있다. 따라서 고지방식으로 인한 비만은 본 연구에서 일어나지 않았다고 사료된다. 고지방식으로 인해 체지방 축적에 대한 부정적인 견해는 신체조성을 측정하지 않았거나 신체 조성에 유의하게 영향을 미치는 충분한 운동강도의 유형을 사용하지 않았을 수 있고, 고지방식이에 훈련된 쥐의 체지방 함량과 정상식 또는 탄수화물 식에서의 훈련된 쥐를 비교한 연구들이 서로 상이한 결과를 보인다는 데 있어, 추후 세밀한 연구결과가 필요하다고 사료된다.

혈장 FFA 농도는 휴식시에 증가하며, 저탄수화물식을 섭취할 때 더욱 빠르게 증가한다. 혈장 FFA 뿐만 아니라 혈장 글리세롤 농도도 저탄수화물식 후에 증가된다. Jansson과 Kaijser(1982)는 65%  $VO_{2max}$ 에서 25분 사이클링 시 근에 의한 FFA 이용이 5일 동안 고탄수화물식(75%)을 한 집단과 비교하여 저탄수화물식(5%)을 한 집단에서 82% 더 높았다고 보고하였다. Mucio 등(1994)은 6명의 runner에게 3가지 식이 효과를 조사하였는데, 탄수화물, 지방, 단백질의 %에너지 비율은 각각 61/24/14, 50/38/12, 73/15/12의 비율로 구성하였다. 저자는 38%fat이  $VO_{2max}$ 와 탈진시간을 증가시켰고 이는 증가된  $\beta$ -산화와 지방산 산화를 통한 것이라고 결론지어, 본 연구에서 40%의 고지방식을 섭취한 쥐에서도  $\beta$ -산화를 야기하였다고 사료되며, 적절한 지방함량의 수치를 간접적으로 시사하는 결과라 할 수 있다. 유리지방산의 혈중 증가는 지방 산화의 증가와 관계가 있듯이 본 연구에 있어서도 40%HFAT 군의 유리지방산이 증가정도가 많다는 것은 지질대사의 활성이 탄수화물식 군에 비하여 높기 때문에 운동 후반에 지질대사에 의한 에너지를 더 많이 동원한 것으로 사료된다. 본 연구에서는 RQ값을 측정하지는 않았으나, 유리지방산의 산화에 의한 에너지가 증가하면 RQ가 감소하는데, 유산소적으로 훈련된 사람의 경우 이러한 대사적 특징이 관찰되며, 이와 같은 대사의 변화는 유리지방산에 의한 에너지 발현을 유지시켜주기 때문에 장시간의 운동수행에 영향을 미칠 수 있다고 사료된다. 글리세롤은 지방 분해에 의해 분비되지만 지방조직에서 대사되지 못하며, 혈중에 유입되어야만 하기 때문에 전신의 지방 분해 활성의 지표로서 사용되기도 한다. 본 연구에서도

글리세롤은 고지방식군에서 높은 경향을 보이고 있다.

본 연구에서 탈진운동시간은 고지방식군에서 수치상으로 증가를 보였으나, 집단간 유의차가 나타나지 않았다. 이는 Burke 등(2002)의 연구와 일치하는데, 훈련된 사이클 선수에게 70%의 고지방식을 5일간 섭취시킨 결과, 30분 이내의 자기조절 사이클 수행시간(time trial)에는 효과를 보지 못했으나, 에너지 기질과 지방산화 능의 활용을 강화시켰음을 보고하고 있다. 또한 Starling 등(1997)도 68%의 고지방식이가 근 TG와 운동수행에 미치는 영향에 대해 사이클 선수들을 대상으로 연구한 결과, 120분 간의 사이클 운동 후 24시간에서 고지방식이 군에서 TG 및 유리지방산, 글리세롤 수준의 증가를 나타냈다고 보고하고 있으나, time trial에 있어서는 고탄수화물식을 한 집단이 1600kJ의 강도에 도달하는 시간이 현저하게 빠름을 나타내었고, 이것은 Jeukendrup 등(1996)의 지구성 운동수행을 위한 테스트 방법의 타당성을 입증한 3가지 테스트중 time trial을 이용한 운동 방법이다. 이는 탈진 운동 후 24시간에서 근 글리코겐 재합성을 빠르게 하여 고탄수화물식을 한 집단에서 운동수행력이 높음을 시사하는 것으로, 본 연구에서와 같이 지방산화에는 영향이 있으나, 운동수행능력에서 유의차가 없는 결과를 반증하고 있다. 추후 고지방식의 함량 및 섭취기간 그 외, 운동강도나 시간 등의 방법상 문제점을 세밀히 검토하여 연구되어야 할 부분으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 지방과 관련된 근의 효소 및 총 수분량 등 피로로 인한 운동수행의 감소를 비교 제시하지 않았고, 글리코겐 함량이나 이용율을 측정하지 않았다. 그리고 탄수화물 금지 기간 후 혈중에서 증가된 유리지방산 농도는 증가된 ketogenesis를 야기할 것이다. 여러 학자들이 고지방식이 후 케톤체의 생성을 염려하거나 그와 상반되게 ketosis가 야기되지 않음을 보고하고 있다. 어쨌든, 관찰되는 케톤체의 농도는 저지방식과 비교하여 고지방식 후 더욱 높을 것이다. 그리고 심혈관 질환과 같은 지방식의 소비와 관련된 질병의 위험은 잘 정립되어 있다. 정상식을 섭취하는 일반 대중에서 트레이닝은 심혈관계 질환 위험을 감소시키며, HDL 수준을 증가시킬 수 있지만, 운동 선수들에게 장기간의 고지방식의 효과는 계속

연구되어야 한다. 본 연구에서 운동수행을 강화시킨 식이 지방의 함량은 40%이다. 이것을 염두에 두고 먼저 식이의 안정성에 대한 확고한 증거를 확보해 둬 이 없이 선수들의 기록향상을 위한 노력으로 본 연구에서 기술된 것과 유사한 지방식 프로그램을 그대로 받아들이는 일은 매우 신중을 기해야 하는 사항이며, 좀 더 구체적인 연구가 필요하다고 사료된다.

## V. 결론

본 연구는 동일 사육 조건, 동일 운동을 부하한 쥐에게 4주간 서로 다른 40% 고지방식이와 70%의 고탄수화물 식이를 섭취시켜 체지방, 유리지방산 농도 및 지구성 운동수행에 어떠한 영향을 미치는지를 알아본 결과 다음과 같다.

1. 체중 및 Energy intake는 집단간 유의차가 없었다.
2. 체지방률은 40%HFAT 그룹에서 높은 수준을 나타냈지만, 이것은 상호 2%내의 차이이며, 비만을 야기하지 않았다.
3. 유리지방산과 글리세롤은 40%HFAT 그룹에서 높은 유의차를 보였으나, 운동수행능력에 있어서는 집단간 유의차를 나타내지 않았다.

## 참고문헌

- Burke, L. M., Hawley, J. A., Angus, D. J., Cox, G. R., Clark, S. A., Cummings, N. K., Desbrow, B., & Hargreaves, M.(2002). Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med. Sci. Sports Exercise.* 34(1): 83-91.
- Jansson, E. & Kaijser, L.(1982), Effect of diet on the utilization of blood-borne and intramuscular substrates during exercise in man, *Acta Physiol Scand.* 115(1): 19-30.
- Jeukendrup, A. E., W. H. M. Saris, F. Brouns, & A. D. M. Kester,(1996). A new validated endurance performance test. *Med. Sci. Sports Exercise.* 28: 266-270.
- Jeukendrup, A. E.(1997). *Aspects of carbohydrate and fat metabolism during exercise*, Aspen Publisher, Gaithburg.
- Helge, Jom W., Kerry Ayre, Suwadee Chaunchaiyakul, Anthony J. Hulbert, Bente Kiens, & Leonard H. Storlien. (1998). Endurance in high-fat-fed rats: effects of carbohydrate content and fatty acid profile, *J. Appl. physiol.* 85(4): 1342-1348.
- Lapachet, Richard A. B., Wayne C. Miller., & David A. Arnall. (1996). Body fat and exercise endurance in trained rats adapted to a high-fat and/or high-carbohydrate diet, *J. Appl. Physiol.* 80(4): 1173-1179.
- Miller. W. C., Bryce. G. R., & Conlee. R. K. (1984). Adaptation to a high-fat diet that increase exercise endurance in male rats, *J. Appl. Physiol.* 56(1): 78-83.
- Muioio, D. M., Leddy, J. J., Hovath, P. J., Award, A. B., & Pendergas, D. R. (1994). Effect of dietary fat on metabolic adjustments to maximal  $Vo_2$  and endurance in runners, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 81-88.
- Oscari. L. B., Miller. W. C., & Arnall. D. A. (1987). Effects of dietary sugar and of dietary fat on food intake body fat content in rats, *Growth.* 51(1): 64-73.
- Starling, R. D., Todd, A. T., Allen. C. P., Parcell. C. G., William. J. F., & Costill. D. L.(1997). Effects of diet on muscle triglyceride and endurance performance. *J. Appl Physiol.* 82(4): 1185-1189.

접 수 일 : 2007. 01. 10.

게재확정일 : 2007. 02. 06.